

Comparación de algunos aspectos físico-químicos y calidad sanitaria del Estero de Puntarenas, Costa Rica

Jenaro A. Acuña¹, Vera García² y Juan Mondragón³

¹Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, CIMAR, fax: (506) 253-5661, y Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. Correo electrónico: jacuna@cariari.ucr.ac.cr

²Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica.

³FERTICA S. A., Laboratorio de Contaminación Ambiental, Planta Puntarenas, Puntarenas, Costa Rica.

(Rec. 18-V-1998. Rev. 9-IX-1998. Acep. 3-X-1998)

Abstract: Nutrients, temperature, Secchi disk depth and dissolved oxygen spatial distributions were determined along the Puntarenas Estuary. Eleven sampling cruises took place in 1982 and twelve more were carried out during 1990-1992, collecting water samples on a surface and bottom basis along the salinity gradient at six and nine stations, respectively. Salinity profiles indicated a partially mixed estuary during most of the cruises, although the strong tidal current occasionally modified the pattern. During the second part of the study, the global concentration ranges for nitrate and phosphate were broader than those in the first part. Total and fecal coliforms (TC, FC) were determined as most probable number (MPN/100 ml) during six cruises of the second period in nine stations; results showed a typical situation of a very polluted estuary, with values in the range of less than 2 to 1.6×10^7 MPN/100 ml for TC and less than 2 to 9.2×10^6 MPN/100 ml for FC.

Key words: Nutrients, coliforms, estuary, Pacific, Costa Rica.

El Estero de Puntarenas es un estuario complejo que corresponde al tipo de barra, de acuerdo con la clasificación geomorfológica de Pritchard (1967). Tiene una área cercana a los 6 km² y una extensión de unos 7.5 km desde su desembocadura hasta el tramo de entrada del río Naranjo, en la margen sureste del Golfo de Nicoya, en el Océano Pacífico de Costa Rica. Presenta un marcado régimen de mareas, cuya amplitud dominante es la componente armónica semidiurna, M2, con un período de 12.42 horas (Murillo 1983), y amplitudes que con frecuencia exceden los 3 m de altura. Su fangosa ribera norte está cubierta por comunidades de manglares, en las

que abundan *Avicennia germinans* (L) y *Rhizophora mangle* L (Jiménez & Soto 1985). Además de algunos riachuelos intermitentes, varios ríos desembocan en la zona de manglares, tales como el Aranjuez, que da origen al Estero Pitahaya Vieja; el Seco y el Ciruelas, que integran el Estero Pacífico, y en el extremo sureste el río Naranjo, que forma el Estero de Chacarita. El conjunto de afluentes produce una situación especial cuando se considera el régimen de intercambio dispersivo de este cuerpo de agua (Murillo 1983). Sobre la extensa barra que lo separa del mar, está ubicada la ciudad de Puntarenas que, con una población de más de 70 000 habitantes, recibe

frecuentemente una gran cantidad de turistas. Las aguas servidas de la ciudad se descargan al estero sin un adecuado tratamiento de purificación. Sin embargo, se ha construido una planta para tratamiento primario y se llevan a cabo otras acciones comunales, empresariales y municipales para disminuir la contaminación del Estero en particular y de la región en general, tales como las lideradas por la Comisión Interinstitucional Salvemos al Estero. En el Estero de Puntarenas se dispone de atracaderos para buques transbordadores y constituye una marina más o menos dispersa para embarcaciones medianas y pequeñas, privadas, comerciales, de pesca, placer e incluso para las de la Vigilancia Marítima del Ministerio de Seguridad Pública; sin embargo, no se ofrece la infraestructura necesaria para recolectar todos los desechos provenientes de estos u otros tipos de naves. Durante los períodos que abarca la toma de datos y muestras del presente trabajo, se constató que habían sido intensas otras fuentes de contaminación, por ejemplo la descarga de residuos de origen orgánico de las industrias pesqueras localizadas en la ciudad de Puntarenas, la descarga no puntual de chatarra, basura y aceites, y desechos de otras industrias y poblados ubicados a lo largo de las ramificaciones de los diferentes ríos que drenan hacia el Estero. A corta distancia de la entrada del río Naranjo, se construyó un canal para dar acceso a las embarcaciones que transportan materia prima a la fábrica de fertilizantes FERTICA, y posteriormente se establecieron varios poblados, ahora de unos 20 000 habitantes, en los lados norte y sur del canal (Barrios Santa Eduvigés, Fray Casiano y 20 de Noviembre). Ante este contexto, se anticipa que la situación de contaminación del Estero puede ser significativa, por lo que el CIMAR emprendió un programa alterno para la vigilancia de la calidad de estas aguas estuarinas, fundamentado en el estudio de la distribución de nutrimentos, con el propósito de contribuir efectivamente en la toma de decisiones en cuanto al manejo integrado de los esteros. En este artículo se analizan algunas relaciones cualitativas de varios parámetros físico-químicos y de coliformes totales (CT) y fecales (CF), en dos etapas de esta labor de monitoreo en el Estero de Puntarenas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la primera etapa del estudio (1982), se realizaron once campañas de muestreo, la mayoría a bordo del R/V Skimmer (Universidad de Delaware), y se distribuyeron seis estaciones desde la boca del Estero (conexión con el Golfo de Nicoya), hasta el río Naranjo. En cada estación se tomaron muestras en la superficie y en el fondo, y en tres oportunidades se obtuvieron muestras durante los ciclos consecutivos de marea alta y marea baja. En la segunda etapa (período de 1990-1992), se llevaron a cabo doce campañas en un solo tipo de ciclo mareal, con preferencia en marea alta, diez de las cuales fueron a bordo del yate J&B (FERTICA). Se muestrearon las mismas áreas de las seis estaciones anteriores, además de una fuera del Estero, frente al muelle de Puntarenas, usada como referencia para el análisis de los datos, y otra dentro del Canal que comunica con la empresa FERTICA para la determinación de bacterias coliformes. La localización e identificación de las estaciones de muestreo se indican en el Cuadro 1 y en la Fig. 1. La salinidad y la temperatura se midieron con un salinómetro marca YSI, modelo 33; el pH con un medidor Corning modelo 10. La concentración de oxígeno disuelto se determinó con un medidor polarográfico YSI, modelo 51 B, en las primeras once campañas y con la valoración yodométrica del método micro-Winkler en las siguientes (Strickland & Parsons 1972); en ambos casos los datos obtenidos fueron transformados en porcentajes de saturación. La transparencia (o turbidez) se estimó de la pro-

CUADRO 1

Identificación de las estaciones de muestreo en los estudios de contaminación del Estero de Puntarenas, Pacífico de Costa Rica

Estación Número	Distancia desde La Boca/(km)	Ubicación de referencia
1	0	La Boca
2	1.1	Muelle Transbordador
3	2.2	Edificio Municipal
4	3.8	Pitahaya Vieja
5	5.6	Pitahaya Nueva
6	7.6	La Angostura
7	9.0	Río Naranjo
8	2.9	Muelle de Puntarenas
9	9.4	Canal de FERTICA

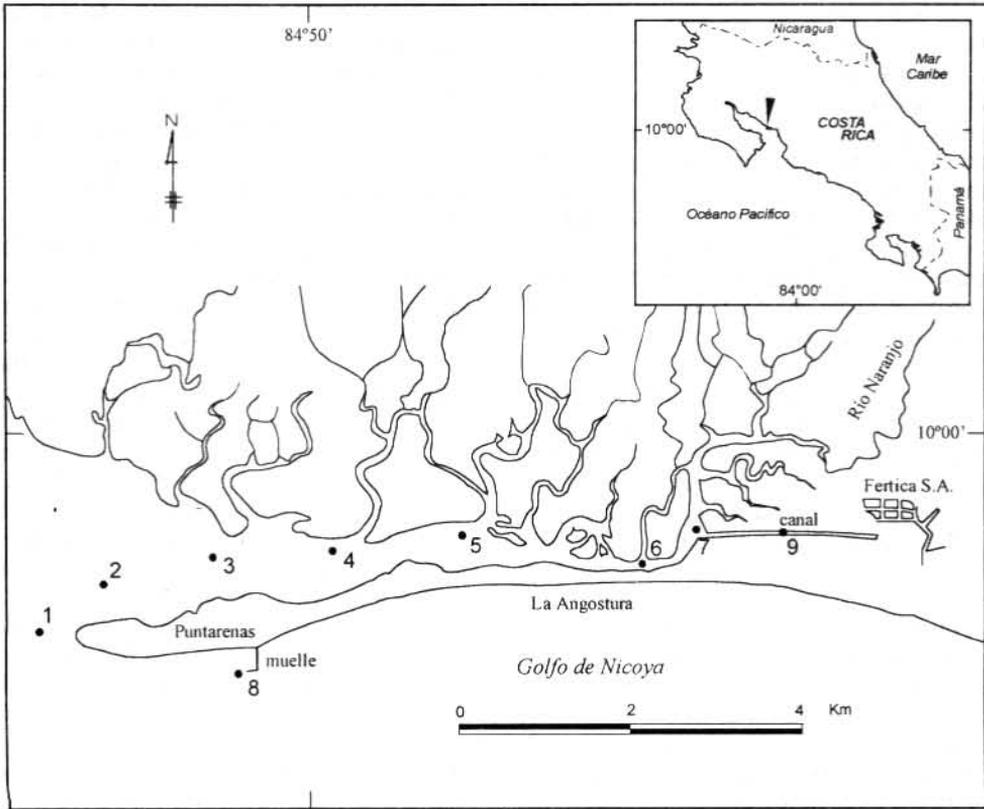


Fig. 1. Area de estudio con las estaciones de muestreo, Estero de Puntarenas, Costa Rica.

fundidad limitante hasta la que se observó un disco de Secchi de 30 cm de diámetro. Las muestras de agua se recolectaron con botellas de Niskin de CPV de 2 l, se trasladaron en hieleras al laboratorio y se congelaron hasta el momento de su análisis mediante los métodos basados en Strickland & Parsons (1972), modificados para volúmenes de 10.0 ml. En seis campañas de la segunda etapa se determinaron los coliformes totales y fecales, empleando la técnica del número más probable (NMP/100 ml) de acuerdo con los métodos de APHA (1992). Para el análisis de los datos se empleó el método de Diagramas de Mezcla entre salinidades extremas, por lo cual se prepararon cerca de 150 diagramas, los cuales no se incluyen en esta publicación por limitaciones de espacio.

RESULTADOS

En la primera etapa del estudio, la salinidad

superficial varió entre los ámbitos de 18.0 a 30.0 (Escala práctica de salinidad 1978) en la boca del Estero y de 5.0 a 16.5 en la estación extrema en el río Naranjo; y en la segunda etapa varió entre los ámbitos de 25.0 a 33.0 en la boca y de 0.0 a 16.0 en el río. En la primera parte del estudio, el ámbito de temperaturas para el total de las campañas fue de 27.0 °C a 36.0 °C, y el de todas las campañas de la segunda parte fue de 26.0 °C a 32.0 °C, excluyendo la estación del Muelle de Puntarenas, que sólo se empleó para apoyar la interpretación de los datos. Se midió el pH del agua en la primera etapa de la investigación y el ámbito estuvo entre 7.00 y 8.40. También en esta etapa del estudio, el ámbito de los porcentajes de saturación de oxígeno en la capa superficial, para el total de las campañas fue de 37.3% a 103%, con un promedio y desviación estándar de $(66 \pm 23)\%$, y no se detectaron condiciones anóxicas. Prácticamente, en todas las campañas realizadas en 1992 los porcen-

tajes de saturación en la capa superficial fueron menores de 100%, tanto en época seca como lluviosa, con promedios y desviación estándar de $(59 \pm 30)\%$ y $(67 \pm 26)\%$, respectivamente, y se detectaron condiciones anóxicas en dos ocasiones, mientras que en los muestreos de 1990 y 1991 los promedios globales fueron superiores a 100%. En la zona de la boca del Estero las aguas fueron más transparentes, ubicándose el disco de Secchi a profundidades, z_s , en el ámbito de 200 a 300 cm; a su vez, en la región comprendida entre el Estero de Chacarita y La Angostura las aguas casi siempre estuvieron turbias, con z_s en el ámbito de 5 a 50 cm. Para la primera etapa del trabajo, el ámbito promedio de los datos de la concentración de nitrato en la capa superficial fue de 0.96 a $48.1 \mu\text{mol l}^{-1}$ y de 0.28 a $44.9 \mu\text{mol l}^{-1}$ para los datos del fondo. El ámbito global para nitrito estuvo entre concentraciones no detectadas por el método de análisis (nd) y $15.4 \mu\text{mol l}^{-1}$ en la superficie y para el fondo entre nd y $15.2 \mu\text{mol l}^{-1}$. Durante el primer período del estudio la concentración de fosfato varió en el ámbito global de nd hasta $6.4 \mu\text{mol l}^{-1}$ en la superficie, y de nd hasta $6.7 \mu\text{mol l}^{-1}$ en el fondo. En el Cuadro 2 se muestran los ámbitos globales de las concentraciones de nutrimentos para la segunda etapa del trabajo.

CUADRO 2

*Ámbitos globales de las concentraciones de nutrimentos durante la segunda etapa del estudio de contaminación del Estero de Puntarenas, costa Pacífica de Costa Rica**

Nutrimento ($\mu\text{mol l}^{-1}$)	Año: 1990 n = 3	1991 n = 4	1992 n = 5
Nitrato	S: nd - 23.1 F: 0.5 - 9.4	S: nd - 90.0 F: nd - 66.0	S: nd - 27.0 F: nd - 15.5
Nitrito	S: nd - 1.7 F: 0.2 - 1.8	S: nd - 9.7 F: nd - 12.0	S: nd - 5.3 F: nd - 5.3
Fosfato	S: nd - 12.0 F: nd - 2.3	S: nd - 3.2 F: nd - 9.6	S: nd - 10.0 F: 0.1 - 6.3
Silicato	S: 1.0 - 406.0 F: 9.2 - 103.0	S: 0.9 - 243.0 F: 1.7 - 217.0	S: 1.7 - 407.0 F: 3.7 - 407.0

* (S: superficie, F: fondo, nd: no detectado, n = Número de campañas).

DISCUSION

La variación espacial de la salinidad superficial y de fondo, a lo largo de las estaciones

de muestreo, evidenció el efecto de la dilución del agua de mar con el agua proveniente del río. El análisis de los perfiles verticales de salinidad demostró que la corriente de marea ejerce una marcada influencia en la estratificación del Estero, en especial durante las mareas altas. Se observó una mayor frecuencia del estado "parcialmente mezclado", según la clasificación en Dyer (1979) y Pickard (1963), en el cual la distribución de la salinidad, aunque aumenta con la profundidad, no muestra un límite definido que separe la capa superficial poco salina, de la capa del fondo, de mayor salinidad, que se origina en una capa intrusiva en forma de cuña que proviene del mar. En la Fig. 2 se ofrece un ejemplo de esta distribución. Ese perfil coincidió en general con los resultados obtenidos por Mata *et al.* (1982); sin embargo, hubo ocasiones en las que las variaciones locales de la corriente de marea dentro del Estero, causaron alteraciones del simple patrón de dilución; por ejemplo, en las campañas de junio y julio de 1982, la intrusión del agua de mar en marea alta originó salinidades uniformes de 30.0 en toda la columna de agua, a lo largo del Estero; en la de junio el gradiente salino estuvo bien definido en la marea baja precedente, con valores de 20.0 en la boca y de 5.0 en el río; y en la de julio, en la marea baja subsiguiente, la situación que de nuevo prevaleció fue la del estado parcialmente mezclado, con salinidades superficiales de 30.0 en la boca y de 12.0 en el río. Durante la campaña de junio de 1992, también se registró una situación especial: en las estaciones del muelle de Puntarenas y la boca del Estero, las salinidades fueron de 30.0 tanto en la superficie como en el fondo; en el otro extremo, en el río, fue de 31.0 en la superficie y de 32.0 en el fondo. A su vez, las salinidades más altas (34.0 - 34.5), en la superficie y en el fondo, fueron detectadas en la parte media del Estero. En esta ocasión, los perfiles verticales de la salinidad en estos segmentos, correspondieron al patrón "verticalmente mezclado" (Pickard 1963), es decir, homogéneo en cuanto a salinidad de la superficie al fondo en cualquier lugar a lo largo del estero. En las campañas de abril de 1991 y de enero de 1992, los ámbitos de salinidades fueron muy reducidos, entre 31.0 en la boca y 28.0 en el río, y de 30.0 en la boca y 24.0 en el río, respectivamente. Con la excepción de estas

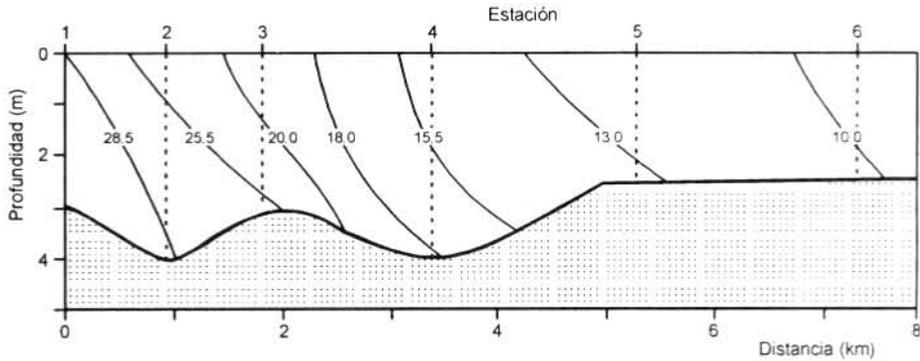


Fig. 2. Perfil de salinidad típico del estado parcialmente mezclado del Estero de Puntarenas, Costa Rica.

situaciones particulares, el gradiente observado permitió analizar los datos de los otros parámetros por medio de diagramas de mezcla, entre las salinidades extremas. A pesar de la complejidad geomorfológica del Estero, los resultados obtenidos en este estudio patentizaron que debido a la influencia de las mareas, ocurren fuertes transiciones entre diversas modalidades de la distribución salina, aunque en general prevalece la condición de estero parcialmente mezclado.

La temperatura de las aguas superficiales se mantuvo casi constante en el lapso del muestreo en cada campaña de la primera parte del estudio, considerando que el tiempo promedio para hacer el recorrido muestral fue de dos horas y la diferencia de temperatura entre las estaciones más distantes fue de 1 °C. En la segunda parte del estudio, también el tiempo promedio para hacer el recorrido muestral fue por lo general de dos horas, sin incluir el que se tardó en alcanzar la estación del Muelle de Puntarenas. En general, en la segunda etapa del estudio hubo una mayor variación en las temperaturas durante el período de muestreo: En nueve campañas la diferencia entre las estaciones más distantes estuvo entre 0.5 y 3.0 °C (moda: $\Delta t = 1.0$ °C); en las de octubre de 1990 y agosto de 1991 la diferencia fue de 4.0 °C y en la de diciembre de 1990 de 5.0 °C. Estas variaciones se atribuyeron principalmente a que en la primera etapa la mayoría de las campañas se iniciaron en horas tempranas de la mañana y las de la segunda etapa, todas se llevaron a cabo después de las 11 horas, excepto la de octubre de 1990, la cual se inició a las 9:50

horas.

El análisis por diagramas de mezcla indicó que en la mayoría de las campañas de la primera etapa del estudio, cerca de la boca del Estero, el pH fue más bajo de lo que definió la línea teórica de dilución, lo cual pudo implicar el efecto del incremento de la concentración de CO₂ debido a la respiración de los microorganismos o a la oxidación de materia orgánica (Olausson 1980, Presley & Trefry 1980).

La intensidad de la variación horizontal del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, tanto en el período lluvioso como en el período seco, y en las dos etapas del estudio, mostró gradientes que por lo general siguieron un patrón de valores más bajos en la región desde la Pitahaya Nueva hacia el río. En los muestreos de la primera etapa la mayoría de los porcentajes de saturación de oxígeno superficial fueron inferiores al 100%, y el análisis de los diagramas de mezcla indicó que, en ciertas ocasiones, ocurrió un incremento del porcentaje de saturación de oxígeno en las estaciones ubicadas en la parte media del Estero durante la marea alta. En esos casos la contribución más importante debió ser la producción fotosintética, puesto que la temperatura de las aguas, en la mayoría de las estaciones, correspondió a las magnitudes más altas registradas en esta investigación, situación que, al contrario de lo observado en los diagramas, favorecería la pérdida del gas de la columna de agua. A su vez, durante la marea baja siguiente, en las estaciones en dirección al Edificio Municipal hasta la Pitahaya Nueva, hubo una remoción parcial del oxígeno disuelto, que pudo estar asociada con la oxida-

ción de materia orgánica descargada por actividades humanas o la resuspendida por la onda de marea, aunque la contribución de los procesos de nitrificación y respiración no fue cuantificada en este trabajo. En la segunda etapa del estudio, sólo en el 32.5 % de la totalidad de las mediciones de oxígeno disuelto superficial, los porcentajes de saturación fueron superiores al 100 %, y casi siempre los valores más bajos se detectaron en la zona del río hacia la Pitahaya Vieja. Los datos del fondo siempre fueron inferiores a los de la superficie y sólo en una oportunidad, durante la campaña de mayo de 1992, se detectaron condiciones anóxicas aun en la capa superficial, desde la estación del río hasta cerca de la Pitahaya Nueva. En dicha ocasión se observó una considerable cantidad de peces muertos, y abundantes camarones saltando en la superficie del agua, además de un fuerte olor a fermento y aguas turbias, lo cual hizo presumir una descarga de materiales orgánicos en el cauce del río Naranjo. En la campaña de noviembre de 1992 los porcentajes de saturación en Pitahaya Vieja y en la Angostura fueron bajos en la superficie (16.4% y 31.7%, respectivamente), y el fondo estuvo anóxico. Esta dinámica permitió inferir que en esa región confluyen con cierta regularidad una serie de aspectos, como el tipo de circulación y la concentración de materia orgánica, que dan como resultado diferentes grados de desoxigenación de las aguas, y se puso en evidencia una situación deficitaria en oxígeno disuelto en los muestreos de 1992, la cual puede ser significativa con respecto a la calidad de las aguas del estero.

Los estuarios tienden a ser fangosos y turbios, en parte debido al sistema de circulación. En el Estero de Puntarenas, las mediciones de la transparencia con el disco de Secchi revelaron que en ambos períodos del estudio, en la zona de la boca del Estero las aguas fueron poco turbias, coincidiendo con la entrada de aguas con un carácter más oceánico, mientras que en la región comprendida entre el Estero de Chacarita y la Angostura casi siempre estuvieron turbias, probablemente por efecto de la circulación y la descarga del río Naranjo y su conexión al fangoso Estero Ciruelas. Esta situación armonizó con los valores de oxígeno disuelto, en el sentido de que la dispersión de los datos de ambos parámetros resultó en una

tendencia de correlación lineal positiva tanto en la época seca como en la lluviosa, con coeficientes de correlación, r , entre 0.80 y 0.27. Toda esta información permitió deducir que, probablemente, un mecanismo importante al que se le podrían atribuir las bajas concentraciones de oxígeno disuelto sería el proceso de oxidación de materia orgánica. Se requiere de más información para confirmar la influencia de otros factores, tales como la concentración de fitoplancton y algunos efectos de la limitación de la penetración de la luz.

Para la nutrición de los productores primarios del ecosistema marino se utilizan, fundamentalmente, las especies iónicas disueltas: nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicato, las cuales participan en complejos sistemas de reciclaje (Parsons & Takahashi 1976, Nixon & Pilson 1983, Nixon *et al.* 1986, Cowan & Boynton 1996, Harrison *et al.* 1997). En los estuarios el drenaje terrestre es la principal fuente de nutrimentos, por lo que las concentraciones más altas se encuentran, por lo general, en la cabeza del estero y en las zonas donde la actividad humana descarga aguas servidas. De acuerdo con esto, en los diagramas de mezcla las desviaciones positivas de la línea teórica de dilución indican un suministro (natural o antropogénico), y las desviaciones negativas reflejan un consumo, asociado ya sea con un moderado incremento de la biomasa fitoplanctónica, con la actividad de los microheterotrofos, con una adsorción sobre partículas, o con otros procesos que tienden a reducir las concentraciones de las especies químicas involucradas. El ion nitrato es la forma disuelta de nitrógeno cuya relación con la salinidad ha sido muy estudiada en lo que se refiere a aguas estuarinas (Nixon & Pilson 1983, Nixon *et al.* 1986). La variación longitudinal de su concentración en la capa superficial del Estero de Puntarenas, evidenció que la principal fuente de esta especie fue el agua dulce descargada en la cabeza del Estero y se notó una contribución adicional de los afluentes localizados en la parte media. Con base en los diagramas de mezcla, se logró precisar que en la primera etapa de la investigación siempre hubo un déficit de esta especie, tanto en la superficie como en el fondo, lo cual indicó la gran actividad biológica o química que se dio con respecto al nitrato. Al contrario de lo observado en la primera etapa

del trabajo, los diagramas de mezcla para la segunda etapa pusieron de manifiesto que, por lo general, durante este periodo hubo un superávit de nitrato, sobre todo en la zona de la Angostura, y en cuatro ocasiones se dio un déficit en la región de las Pitahayas (Nueva y Vieja), no correlacionado con la época seca o lluviosa. En lo que respecta al ion nitrito, otra especie química importante dentro del ciclo del nitrógeno en las aguas marinas y estuarias que puede ser producido por oxidación del ion amonio o por reducción del ion nitrato, la variación longitudinal de su concentración superficial durante la primera parte de la investigación, indicó que en la mayoría de las campañas sus concentraciones se mantuvieron bastante uniformes hasta la estación de la Pitahaya Vieja y a partir de la Pitahaya Nueva hubo un aumento, coincidente con el aumento de nitratos en la parte baja (cabeza) del Estero. En los diagramas de mezcla se observaron tendencias hacia el incremento durante las campañas del 22 de junio y el 27 de julio de 1982 en la región de las Pitahayas Nueva y Vieja, mientras que en las campañas del 15 de junio, 16 de octubre y el 13 de noviembre de 1982, hubo un déficit en la concentración de los nitritos. Los diagramas de mezcla para la segunda etapa del trabajo, revelaron una situación similar a la que presentaron los nitratos: En la zona de la Angostura se dio un superávit pero en la región de las Pitahayas en tres ocasiones se determinó un déficit de nitrito, coincidente con los déficits de nitrato. El ion fosfato es la principal especie de fósforo disuelta en las aguas marinas que tiene gran importancia biológica, y en los ríos no sólo se deriva de los procesos naturales de meteorización, sino que también de desechos urbanos, agrícolas e industriales. El patrón usual de la distribución longitudinal de la concentración superficial de fosfatos en el Estero de Puntarenas, correspondió a un gradiente de disminución desde la cabeza del estero a la boca y se observó un ligero aporte de los tributarios de la zona inferior. Durante el primer período del estudio los diagramas de mezcla indicaron que con la excepción de la campaña del 13 de noviembre, en la que se encontró un superávit en la región de las estaciones denominadas Edificio Municipal a la Pitahaya Vieja, en el resto de las campañas las concentraciones de fosfato fueron más bajas de lo que definió la línea

teórica de dilución. Desde un enfoque de contaminación ambiental, se pudo deducir que esta información apoyó el hecho de que, en general, no se detectó un aporte antrópico de fosfatos. Al contrario, para la segunda etapa del trabajo, y con la excepción de los resultados de la campaña de agosto de 1991, en la que hubo un déficit de fosfatos en todas las estaciones de muestreo ubicadas entre los puntos de salinidad extrema, los diagramas de mezcla permitieron poner en evidencia un significativo superávit de fosfato sobre la línea teórica de dilución en la mayoría de las campañas, destacando el hecho de que en la zona de la Angostura el incremento fue muy importante. De nuevo, desde un enfoque de contaminación ambiental, la situación evidenció una estructura típica de un aporte que pudo ser ocasionado por descargas antropogénicas; no obstante que las fuentes no fueron trazadas en este estudio, en un punto cercano a la estación de muestreo en La Angostura se observó la constante liberación de aguas servidas desde un sistema de tuberías. En términos generales, la región de La Angostura (estaciones 5, 6) constituyó una zona de acumulación de nutrimentos y en ocasiones en la zona entre la estación ubicada en dirección frente al edificio Municipal y la desembocadura de los esteros de las Pitahayas (estaciones 4, 5) se favoreció el déficit de nutrimentos, por lo que conviene ampliar los estudios con mediciones de productividad primaria y establecer interrelaciones con los sedimentos, puesto que las distribuciones de nutrimentos dependen tanto de las descargas de los ríos, otros efluentes y del flujo mareal, como de procesos pelágicos y béticos. El panorama general descrito permite concluir que al comparar las dos etapas de este estudio, el sistema experimentó un deterioro al final de 1992, desde la perspectiva de la distribución de nutrimentos y la concentración de oxígeno disuelto. Más adelante se discute la presencia de bacterias coliformes en el estero, determinada en 1991 y 1992.

En la segunda parte del estudio se analizó la distribución de silicatos. Los silicatos disueltos son fundamentales como material constitutivo de estructuras extracelulares para algunos organismos marinos, por lo que la concentración de este nutrimento está en parte controlada por procesos biológicos. Otros

factores que intervienen en el ciclo del silicio en el ambiente estuarino, conducen a la sedimentación y resuspensión de esta especie química, de manera que por lo general el comportamiento del silicato disuelto no es conservativo. Sin embargo, la aplicación cuidadosa de los diagramas de mezcla a las concentraciones determinadas en el Estero de Puntarenas reflejaron una tendencia un poco diferente a la de los otros nutrientes. Hubo un mayor número de campañas con déficits, incluso en la estación de La Angostura en las campañas de octubre de 1990 y noviembre de 1992. Por lo tanto, es conveniente realizar un estudio detallado acerca de la constitución fitopláctica del estero, para determinar la correlación con la tasa de crecimiento de aquellas especies que fijan sílice.

Las actividades humanas en las cercanías de los ambientes costeros han causado la descarga de desechos sanitarios que, en la mayoría de los casos, no reciben el tratamiento de descontaminación adecuado. Por esta razón, los estuarios están propensos a recibir y albergar organismos entéricos y virus causantes de una variedad de enfermedades en los seres

Costa Rica, Mora *et al.* (1989) prepararon una escala de tres clases de aguas, en la que consideraron aspectos epidemiológicos, estéticos y ecológicos, correlacionados con variables físico-químicas y bacteriológicas como el NMP de CT y CF/100 ml. La clase A comprende aguas seguras, bacteriológicamente, para la natación, con un promedio geométrico (\bar{x}_g) de CT/100 ml <200 u 80% <460 (NMP), y CF/100 ml <100 (\bar{x}_g) u 80% <240 (NMP); la clase B corresponde a aguas aptas para la natación, pero sujetas a inspecciones y análisis periódicos, con CT/100 ml de 200 a 400 (\bar{x}_g) u 80% 1000 (NMP), y la clase C, son aguas no aptas para la natación, con CT/100 ml >500 (\bar{x}_g) ó 21% >1000 (NMP), y CF/100 ml >240 (\bar{x}_g) ó 21% >460 (NMP). Al analizar la dinámica de la distribución de las bacterias coliformes en el Estero de Puntarenas, resultó que dentro de la clasificación anterior le correspondió la clase C a la mayoría de las estaciones de muestreo, debido a que los valores promedio (NMP) fueron superiores a los 1 000 CT/100 ml ó 460 CF/100 ml (Cuadros 3 y 4).

Mientras que para los coliformes totales la distribución en el estero resultó estadística-

CUADRO 3

Estadística de los estudios de contaminación bacteriana del Estero de Puntarenas, Pacífico de Costa Rica. Coliformes totales (NMP)/100 ml

Estación Número	Ubicación de referencia	Promedio aritmético	CV* (%)	Promedio geométrico	Ambito
1	La Boca	9 506	208	321	33-3 500
2	Muelle Transbordador	11 359	188	646	11-96 200
3	Edificio Municipal	8 951	161	1 066	130-13 000
4	Pitahaya Vieja	11 081	147	851	540-35 400
5	Pitahaya Nueva	11 888	119	4 950	540-35 400
6	La Angostura	95 437	189	16 469	920-460 000
7	Río Naranjo	150 048	152	22 168	340-540000
8	Muelle de Puntarenas	100	154	13	<2-350
9	Canal de FERTICA S.A.	1 501 691	320	265 126	49 000-1.6 x 10 ⁷

*CV = Coeficiente de variación.

humanos. Con el propósito de evaluar la contaminación fecal en el ambiente marino, con frecuencia se han escogido como organismos indicadores a los coliformes totales (CT) y a los coliformes fecales (CF), aunque se han propuesto otros medios, como la determinación de coprostanol, un esteroil presente en las heces de los organismos superiores, incluyendo al ser humano (Singley *et al.* 1974, Jen & Han 1996). Para establecer mejores criterios de calidad de las aguas costeras de

mente similar ($p=0.05$) en las nueve estaciones de muestreo, se observó una clara demarcación de cuatro zonas diferentes al nivel de $p=0.05$, en la distribución de los promedios de la concentración de coliformes fecales: La primera comprendió las estaciones entre el río y la Pitahaya Vieja, donde los valores siempre fueron altos, con un NMP promedio global de 70 780/100 ml; la segunda abarcó después de la Pitahaya Vieja hasta La Boca del estero, con un NMP promedio de 2 172/100 ml, e incluso

CUADRO 4

Estadística de los estudios de contaminación bacteriana del Estero de Puntarenas, Pacífico de Costa Rica. Coliformes fecales (NMP)/100 ml

Estación Número	Ubicación de referencia	Promedio aritmético	CV* (%)	Promedio geométrico	Ambito
1	La Boca	2 145	260	177	33-2 400
2	Muelle Transbordador	2 942	230	146	<2-24 000
3	Edificio Municipal	1 429	117	460	49-3 500
4	Pitahaya Vieja	48 252	225	471	46-54 000
5	Pitahaya Nueva	62 786	198	1 088	34-49 000
6	La Angostura	86 568	167	8380	460-460 000
7	Río Naranjo	85 514	120	13 980	2 400-220 000
8	Muelle de Puntarenas	24	213	5	<2-130
9	Canal de FERTICA	1 899 400	215	159 797	24 00-9.2 x 10 ⁶

*CV = Coeficiente de variación.

en dos ocasiones se determinaron valores característicos para aguas tipo A. La tercera zona fue el Muelle de Puntarenas, donde el NMP promedio estuvo en 24/100 ml, correspondiente a aguas clase A, y la cuarta fue la estación dentro del Canal de FERTICA, donde los valores de coliformes fecales fueron los más altos de todo el estudio, con un NMP promedio superior a $1.8 \times 10^6/100$ ml. Este tipo de distribución está correlacionada con varios factores como la salinidad de las aguas y la fuente de contaminación. En primera instancia, en las aguas más salinas la supervivencia de los coliformes fecales es menor y en el momento de realizar este estudio las casas construidas a lo largo del Canal de FERTICA vertían las aguas negras directamente al Canal. Estos resultados coinciden con los de Araya & Rodríguez (1984). A pesar de que los datos fueron escasos para definir tendencias con relación a las estaciones seca y lluviosa, puesto que en 1991 los muestreos se efectuaron en los meses de abril, agosto y setiembre y los de 1992 en mayo, octubre y noviembre, se logró percibir el efecto de la dilución por la lluvia y la escorrentía en el muestreo del mes de noviembre, ocasión en que, con excepción de los muy altos valores en el Canal de FERTICA, los CT fueron superiores a 1000 (NMP)/100 ml únicamente en la región de la Angostura y la Pitahaya Nueva, e inferiores a 460 (NMP)/100 ml en el resto de los sitios de muestreo. Con respecto a los CF los resultados fueron similares: el canal de FERTICA, la Angostura y la Pitahaya Nueva fueron clasificadas como regiones con aguas clase C y las demás como clase A durante este muestreo; sin embargo, en términos generales, al mo-

mento de llevar a cabo este estudio las aguas del Estero de Puntarenas no resultaron aptas para recreación de contacto primario y con frecuencia la región de La Angostura resultó ser una zona de acumulación de coliformes fecales.

AGRADECIMIENTOS

La Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica financió parcialmente este trabajo mediante los proyectos #02-07-14-20 y #808-90-409. Personal administrativo del Centro Regional de Occidente de la Universidad de Costa Rica colaboró de una manera muy amplia en la primera parte del trabajo, mientras el primer autor laboró en esa Institución, entre ellos: J. Montero, C. Valerio, R. Montero; además R. Hoffmaister, J. Vargas y M. Murillo (CIMAR). La empresa FERTICA S.A. financió las campañas del período 1990-1992, realizadas a bordo de su yate J&B; G. Luna C., E. Vargas, J. Araya, A. Morera, C. Durán y J. Miranda también colaboraron.

RESUMEN

Se determinó la distribución espacial de nutrientes, temperatura, transparencia y oxígeno disuelto a lo largo del Estero de Puntarenas. Se llevaron a cabo 11 campañas de muestreo en 1982 y 12 más durante 1990-1992, en las que se recolectaron muestras de agua a lo largo del gradiente de salinidad en seis y nueve estaciones de muestreo, respectivamente. Los perfiles de salinidad de la mayoría de la campañas, mostraron que se

trata de un estero parcialmente mezclado, aunque la fuerte corriente de marea ocasionalmente modifica este patrón. Durante la segunda parte del estudio, los ámbitos globales de concentración para el nitrato y el fosfato fueron más amplios que los de la primera parte. Se determinaron los coliformes totales y fecales (CT, CF), como número más probable (NMP)/100 ml, durante seis campañas del segundo período en nueve estaciones, y los resultados indicaron una situación típica de un estuario muy contaminado, con valores en el ámbito de menos de 2 hasta 1.6×10^7 NMP/100 ml para CT y menos de 2 a 9.2×10^6 NMP/100 ml para CF.

REFERENCIAS

- Anónimo. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington. APHA, AWWA, WPCF. p: 9-45 - 9-53.
- Araya, V. G. & S. Rodríguez S. 1984. Relación entre la contaminación del agua de los manglares y los bivalvos del Estero de Puntarenas. Tesis. Licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José, 79 p.
- Cowan, J.L.W. & W.R. Boynton. 1996. Sediment-water oxygen and nutrient exchanges along the longitudinal axis of Chesapeake Bay: Seasonal patterns, controlling factors and ecological significance. *Estuaries* 19 : 562-580.
- Dyer, K.R. 1979. Estuaries and estuarine sedimentation. p. 1-18. In K.R. Dyer (ed.) "Estuarine hydrography and sedimentation, a handbook". Cambridge University, Cambridge.
- Harrison, P.J., N. Khan, K. Yin, M. Saleem, N. Bano, M. Nisa, S.I. Ahmed, N. Rizvi & F. Azm. 1997. Nutrient and phytoplankton dynamics in two mangrove tidal creeks of the Indus River delta, Pakistan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 157: 13-19.
- Jen, W.-L. & B.-C. Han. 1996. Coprostanol in a sediment core from the anoxic Tan-Shui Estuary, Taiwan. *Estuarine Coast. Shelf Sci.* 42: 727-735.
- Jiménez, J.A. & R. Soto. 1985. Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 33: 25-37.
- Mata, A.J., B. Chacón & A. Rodríguez. 1982. La estructura salina del Estero de Puntarenas y manglares adyacentes, pp. 33-37. In A.J. Mata (ed.) "Contaminación Ambiental". Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Mora, D., J.C. Rojas, M. Sequeira, A. Mata & M. Coto. 1989. Criterios bacteriológicos y calidad sanitaria de las aguas de las playas de Costa Rica, período 1986-1987. *Tecnología en Marcha (Costa Rica)* 9: 45-59.
- Murillo, L. 1983. Un modelo para el régimen de intercambio dispersivo en el estrecho de Puntarenas. *Tecnología en Marcha (Costa Rica)* 6: 15-22.
- Nixon, S.W., C.A. Oviatt, J. Frithsen & B. Sullivan. 1986. Nutrients and the productivity of estuarine and coastal marine ecosystems. *J. Limnol. Soc. Sth. Afr.* 12: 43-71.
- Nixon, S.W. & M.E.Q. Pilson. 1983. Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems. In E.J. Carpenter & D.G. Capone (eds.) "Nitrogen in the marine environment". Academic, New York.
- Olausson, E. 1980. The carbon dioxide-calcium carbonate system in estuaries. In Olausson, E. & I. Cato (eds.) "Chemistry and biogeochemistry of estuaries" Cap. 9. Wiley, Chichester.
- Parsons, T. & M. Takahashi. 1976. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon, Oxford.
- Pickard, G.L. 1963. *Descriptive Physical Oceanography*. Pergamon, Oxford.
- Presley, B.J. & J.H. Trefry. 1980. Sediment-water interactions and the geochemistry of interstitial waters. In E. Olausson & I. Cato (eds.) "Chemistry and biogeochemistry of estuaries". Cap. 6. Wiley, Chichester.
- Pritchard, S.W. 1967. What is an estuary: Physical viewpoint, pp. 3-5. In G.H. Lauff (ed.) "Estuaries". Publication. American Association for the Advancement of Science, Washington D.C.
- Singley, J.E., C.J. Kirchmer & R. Miura. 1974. Analysis of coprostanol, an indicator of fecal contamination. EPA-660/2-74-021. Washington, D.C.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bull. 167. Fisheries Resources Board of Canada, Ottawa, 310 p.